

암석 및 단층물질의 유전율 상수 측정을 위한 장치 개발

최정해, 김용제, 채병곤

한국지질자원연구원, 대전시 유성구 과학로 125

jhchoi@kigam.re.kr

1. 서론

암석의 유효공극률을 산정하기 위해서 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 방법은 암석의 포화상태와 건조상태에서의 질량변화를 계산하는 방법이다. 그러나 이러한 방법에는 암석의 수침과 건조과정에서 완벽하게 공극내의 물을 포화시키거나 건조시키는 것이 불가능하다는 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 암석의 유전율을 TDR센서를 활용하여 계산하고 이를 토대로 암석의 유효공극률을 산출하는 연구를 진행한다[1]. 본 연구를 위하여 암석이나 단층 물질의 유전율 상수값을 다양한 물리조건에서 실현하기 위해서 압력 및 온도 조절이 가능한 유전율 측정장치를 개발하였다. 이 실험장치를 활용하여 지하심부의 조건은 물론이며 다양한 물리화학적 환경조건하에서의 유전율 상수값 측정 실험을 진행 할 수 있으며 다양한 시료에 대한 직접적인 유효공극률 계산이 가능할 것으로 기대한다.

2. 장치구성

2.1. 시료 챔버

시료 챔버는 암석, 단층물질, 벤토나이트 등의 시료를 넣고 유전율 센서를 시료에 부착하여 압력, 온도, 함수조건을 변화시키면서 유전율을 측정할 수 있는 부분이다.

본체 크기는 높이 180mm, 외경 165mm, 덮개 장착부 내경 125mm, 시료 장착부 내경 120mm이며 내부에 육면체 또는 원통형의 측정 대상시료를 넣을 수 있도록 하였다. 시료 챔버의 하부에는 압력 조절용 물을 배수하기 위해 배수구를 설치하였다. 시료 챔버는 스테인레스 스틸의 재질을 가지며, 최대 30MPa의 압력에 견딜 수 있도록 하였다. 시료 챔버 내부에는 가압장치를 통해 물을 주입하여 압력이 변화하게 되는데, 이때 온도 조절 장치를 통해 시료 챔버에 다양한 온도의 물이 채워질 수 있도록 고안되었다.

측정 시료는 직경 120mm, 높이 120mm의 본체 공간 내에 들어가도록 성형한다. 시료의 모양은 육면체 또는 원통형으로 만들 수 있다. 시료 챔버 내의 측정대상 시료에는 유전율 값 측정을 위해 유전율 측정용 센서를 부착하게 된다. 유전율 측정 센서의 부착을 위해 암석 시료의 경우는 시료 중앙에 직경 25mm, 높이 최대 120mm의 구멍을 뚫고 그 속에 복수의 센서를 부착한다. 유전율 센서가 시료를 통하지 않고 바로 물과 접촉되는 것을 방지하기 위하여 에폭시 등으로 시료에 천공한 구멍을 채운다. 센서에 연결된 전선은 시료 챔버 덮개에 설치한 구멍을 통해 데이터 로거에 연결한다. 단층물질과 벤토나이트 시료의 경우 시료의 강도가 약하기 때문에 시료 중앙에 구멍을 뚫을 수 없으므로 유전율 센서를 시료 내에 밀어 넣어서 설치한다.

시료 챔버 덮개부분은 외부테두리와 내부 덮개의 이중구조로 고안되었다. 내부덮개는 각종 센서의 전선이 내부로부터 외부로 통과할 수 있도록 세 종류의 구멍이 뚫려 있다. 즉, 최대 3개의 유전율 측정 센서로부터 연결된 전선을 통과시키기 위해 가장자리에 6개의 구멍과 시료 챔버 내부에 수압을 가할 수 있는 주입구멍 1개, 시료 챔버내 수위를 확인하기 위한 수위확인용 구멍 1개를 덮개 중앙에 고안하였다. 이 구멍들은 전선 통과 후 밀봉이 되도록 육각형 너트로 조여질 수 있도록 하였다.

2.2. 가압조절부

가압조절부는 시료 챔버에 수압을 가하고 이를 측정할 수 있도록 고안하였다. 수압은 별도로 설치한 주입용 수조로부터 가압장치(펌프)를 이용하여 시료 챔버에 물을 주입하게 된다. 수압의 정확한 조절을 위해 물은 수조로부터 시료 챔버까지 곧바로 주입하지 않고 2단계의 조절밸브를 거쳐 주입되도록 고안하였다. 또한 각 부분의 수압을 관측할 수 있도록 가압장치(펌프)와 1차 조절밸브 사이에 정밀 압력계를 설치하고, 2차 조절밸브와 시료 챔버 사이에 별도의 정밀 압력계를 설치하

도록 고안하였다. 2차 조절밸브를 통과한 물은 시료 챔버 덮개에 설치한 가압호스용 구멍을 통해 시료 챔버에 주입된다.

본 연구에서 고려하는 압력은 지하 800m - 1km 구간의 압력상태를 재현하기 위하여 최대 30MPa까지의 범위에서 자유롭게 조절할 수 있도록 고안하였다. 이와 같은 고압상태를 재현하는 이유는 고준위방사성폐기물 지층처분 또는 CO₂ 지중저장의 심도가 보통 지하 1km 내외의 구간에서 이루어지기 때문이며, 이러한 압력조건에서 측정 대상시료의 유전을 변화특성을 파악하기 위해서이다.

2.3. 온도 조절부

본 연구에서는 지하의 압력변화 뿐만 아니라 온도변화에 따른 유전율 특성변화를 파악하기 위하여 온도 조절기능을 고안하였다. 온도조절부는 기본적으로 물을 가열한 후 이를 시료 챔버 외부를 둘러싸고 있는 온도 조절용 외부셀에 주입하여 그 열이 시료 챔버 내에 있는 시료에 전달되도록 고안하였다. 시료 챔버 본체 내부의 온도를 측정하기 위하여 온도센서를 시료 챔버 본체 상부에 설치하고, 그 온도를 시료 챔버 외부에 설치한 온도 표시패널에서 확인할 수 있도록 고안하였다. 온도의 측정 정확도는 0.01°C까지 가능하다.

2.4. 유전율 측정용 TDR 센서, 데이터 로거 및 저장장치부

본 발명은 압력 및 온도의 변화뿐만 아니라 기본적으로 시료가 물과 접촉함으로써 시료 내부로 물이 침투하여 건조한 시료가 갖는 고유의 유전율 값을 함수상태에 따라 변화하는 것을 측정하도록 고안되었다. 이러한 유전율의 변화는 시료에 부착한 유전율 측정용 센서로 감지할 수 있다. 본 연구에서는 전도성이 뛰어난 구리 재질의 직경 25mm의 링(ring)을 시료의 가운데 천공한 구멍에 삽입하여 시료와 밀착시키고, 구리 링의 한쪽 끝부분에 전선을 각각 연결하여 시료 챔버 외부에 설치한 TRD센서와 연결하도록 고안하였다. 이를 통해 시료의 함수상태 변화에 따른 유전율 값의 변화를 측정할 수 있다. 감지된 유전율 값은 데이터 로거에 일정시간 간격으로 읽히게 되고, 이 자료는 데이터 로거와 연결된 컴퓨터에 저장된다. 획득된 유전율 값으로 다양한 방법을 통해 시료의 공극율 및 유효공극률을 계산해 낼 수 있으며,

이를 바탕으로 암석, 단층물질, 벤토나이트 등에서 압력, 온도, 함수상태의 조건에 따라 공극율 및 유효공극률이 변화하는 특성을 파악할 수 있다.

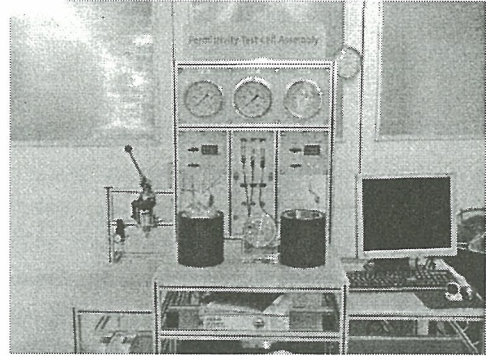


Fig. 1. Permittivity experiment setup

3. 결론

본 연구에서 개발된 실험 장치는 암석 및 단층물질의 유효공극률을 유전율 상수를 활용하여 계산할 수 있도록 하는 장치이다. 이는 지금까지 공극률산출을 위해서 수행되어왔던 많은 실험방법과 다른 특징을 가지고 있으며 특히 수침과 건조 과정을 거쳐 산출되는 유전율 상수 값에 비해 더욱 정확하고 객관성 있는 결과를 제시해 줄 것으로 기대한다. 뿐만 아니라 암석이 위치하는 지하심부의 환경을 재현하는 것이 가능하므로 지하심부 현장에서의 유효공극률 변화 또는 상태를 정확하게 측정할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (201017102002B)

5. 참고문헌

- [1] K. Hu and C.R.Liu, Theoretical study of the dielectric constant in porous sandstone saturated with hydrocarbon and water, IEEE Transaction On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, No. 3, pp. 1328-1336, 2000.